

В связи с этим наиболее оптимальным представляется использование охлаждения по типу тепловой трубы, устраняющее оба этих недостатка: начальная температура изложницы, равная температуры кипения воды $T_{\text{кип}} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, достаточно высока, чтобы избежать чрезмерных напряжений в изложнице, а коэффициент теплоотдачи при этом на порядок выше, чем при других способах охлаждения.

Из расчетов также следует, что использование медных изложниц является более целесообразным по сравнению со стальными, поскольку в силу относительно малой теплопроводности стали увеличивается время застывания анода, что приводит к увеличению времени цикла и снижению производительности.

УДК 536.423.4

КОНДЕНСАЦИЯ ПАРА ИЗ ПОТОКА ПРИ ТУМАНООБРАЗОВАНИИ

VAPOR CONDENSATION FROM A STREAM WITH MISTING

Иванов Н. С., Муравьев А. В.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,

a_mur@el.ru

Ivanov N. S., Muravyov A. V.

Ural Federal University, Ekaterinburg

Аннотация: В работе рассмотрена модель теплообмена в потоке парогазовой смеси при наличии туманообразования. Определено влияние объемного теплообмена на изменение потока тепла от смеси к охлаждающей поверхности. Показано, что при высокой концентрации конденсирующегося вещества процесс теплообмена становится менее интенсивным за счет перераспределения тепловых

потоков от охлаждающей поверхности к объемным стокам тепла в виде частиц тумана.

Abstract: The paper considers a model of heat transfer in the flow of the gas mixture in the presence of fogging. The influence of volume heat transferring to change the flow of heat from the mixture to the cooling surface. It is shown that at high concentrations of condensing substances, the heat transfer process becomes less intense due to the redistribution of heat flow from the cooling surface to volume of the heat sinks in the form of particles of fog.

Ключевые слова: теплообмен; фазовый переход; химическая промышленность; энергетика; энергосбережение.

Key words: heat transfer; phase transition; chemical industry; energetics; energy saving.

Конденсация пара в энергетических установках и ряде других машин и аппаратов химической и металлургической промышленности, может происходить из смеси с неконденсирующимся газом. При этом часто возникает пересыщение пара (обычно мало превышающую единицу вследствие большого числа центров конденсации) и начинается объемная конденсация – туманообразование. Как правило, этот процесс протекает вблизи охлаждающих поверхностей, а значит математическая модель может быть построена с использованием приближения стационарного пограничного слоя.

Система уравнений для пограничного слоя с учетом объемного стока массы и соответствующего выделения тепла при постоянных физических свойствах имеет тот же вид что и система течения и теплообмена в пограничном слое с добавлением в уравнение неразрывности объемного стока массы, а в уравнение переноса тепла добавляется объемный источник тепла.

При решении тепловой задачи использовалась безразмерная температура $\theta = (T - T_w) / (T_0 - T_w)$, где T – текущая температура, являющаяся функцией координат, T_w – температура стенки, T_0 – температура набегающего потока. Для обезразмеривания координат

использовался масштаб U/a , где U – скорость набегающего потока, a – коэффициент температуропроводности парогазовой смеси, который принимался постоянным. Допущение о постоянстве коэффициента температуропроводности является оправданным, поскольку его изменение с изменением концентрации пара и температуры смеси не превышает нескольких процентов.

Моделирование процесса теплообмена на каплях тумана приводит к выводу, что вместо концентрации пара необходимо использовать величину $\varphi = \ln(1-\gamma)$, где γ – массовая доля пара, учитывающая влияние стефановского потока. При этом считается, что капли тумана движутся со скоростью потока и в каждой точке потока пар насыщен $\gamma = \gamma_s(\theta)$.

В критерии Кутателадзе $K = r/(c_p \cdot \Delta T)$, с помощью которого задается объемное тепловыделение в потоке, в качестве масштаба температур ΔT берется разность температур между температурой стенки T_w и температурой набегающего потока T_0 . Из-за наличия стефановского потока скорость смеси на стенке будет отлична от нуля.

Можно показать, что задача допускает автомодельное решение, что значительно упрощает расчеты, поскольку от системы уравнений в частных производных мы переходим к системе обыкновенных дифференциальных уравнений.

Проведенные расчеты показывают, что при низких концентрациях пара профили концентраций становятся менее заполненными, поток пара в пограничный слой увеличивается и идет интенсивное туманообразование. При этом профиль температур и, как следствие потоки тепла, меняются слабо, так как общее тепловыделение за счет туманообразования при малых концентрациях пара невелико.

При высоком паросодержании, напротив, профиль температур за счет большого тепловыделения, препятствующего дальнейшему развитию объемной конденсации, становится более заполненным, а профиль концентраций практически не меняется. Из этого можно сделать вывод, что при высоких концентрациях пара влияние

туманообразования на профили концентраций незначительно и концентрации пара можно рассчитывать по кривой насыщения и температуре потока в данной точке.

Применение разработанной модели к процессу испарения жидкости с поверхности и с последующей объемной конденсацией пара в потоке показывает, что в этом случае конденсация пара происходит в узкой полосе на некотором удалении от поверхности — так называемая полоса тумана. Вне пределов этой полосы, концентрация пара невелика.

Качественно та же картина с распределением температуры и концентраций пара вблизи охлаждаемой или нагреваемой поверхности наблюдается и при турбулентном течении. Однако эффект полосы тумана при турбулентном течении выражен не так ярко из-за того, что происходит размывание области высокой концентрации капель тумана за счет интенсивных турбулентных пульсаций.

УДК 697

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ОТОПЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ РЕМОНТНО-МЕХНИЧЕСКОГО ЦЕХА

JUSTIFICATION OF THE METHOD OF HEATING AND VENTILATION OF THE REPAIR-MECHANICAL SHOP

Ильина Е. М., Старкова К. А., Волкова А. В., Морозов А. Ю.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
ilyichova@gmail.com, star-kristin@yandex.ru, dikilman@yandex.ru.

Ilyina E. M., Starkova K. A., Volkova A. V., Morozov A. Yu.
Ural Federal University, Ekaterinburg